



# [12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 89101555.8

[51] Int.Cl<sup>4</sup>  
C01B 13/02

[43] 公开日 1989年10月4日

[22] 申请日 89.3.16

[30] 优先权

[32] 88.3.17 [33] JP [31] 65197/88

[71] 申请人 制铁化学工业株式会社

地址 日本兵库县

[72] 发明人 春名一生 上田侃二  
井上雅裕 染田均

[74] 专利代理机构 中国专利代理有限公司  
代理人 杨松坚

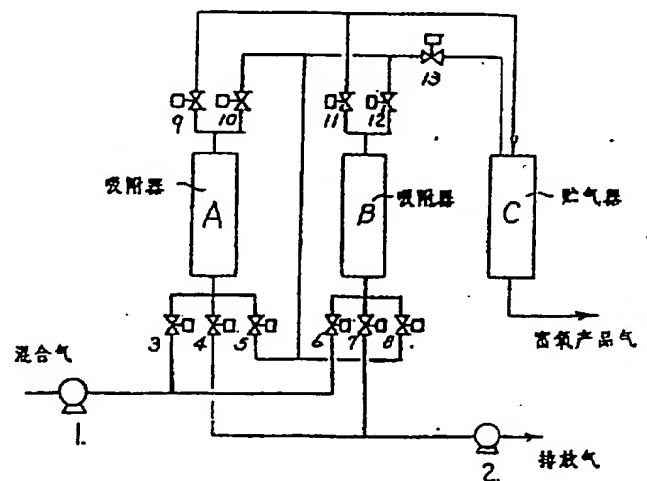
B01D 53/04

说明书页数: 12 附图页数: 6

## [54] 发明名称 回收富氧气体的方法

### [57] 摘要

一种通过 PSA 法从主要含氮气和氧气的混合气体中回收富氧气体的方法, 该方法包括: 设置两个吸附器 A 和 B, 该吸附器备有作吸附剂用的沸石分子筛, 和用来储积所回收的富氧气体的贮气器。所述贮气器与各吸附器的出口管连接并为之共用; 将混合气体通入吸附器 A 以吸附氮气, 减压下, 将已吸附于吸附器 B 内的氮气从中解吸。所述的通气、吸附和解吸可按吸附、解吸、吹洗、回收、压力累积和加压六个步骤依次重复进行, 并可交替使用吸附器 A 和 B。



1. 一种通过变压吸附(PSA)从主要含有氮气和氧气的混合体气中回收富氧气体的方法,该方法包括:

设置两个吸附器A和B,该吸附器备有作吸附剂用的沸石分子筛和用来储积所回收的富氧气体的贮气器,所述贮气器与各吸附器的出口管连接并为之共用,以常压到低于 $2\text{kg}/\text{cm}^2\text{G}$ 的压力将混合气体通入吸附器A以吸附氮气,在 $100\text{mmHg}$ 至 $400\text{mmHg}$ 的压力下,将已吸附于吸附器B内的氮气从中解吸,

所述的通气、吸附和解吸可按以下六个步骤进行:

(1)通过吸附器A的进口管通入混合气体,选择性地吸附氮气,与此同时,通过吸附器A的出口管,在贮气器内储积所得的富氧气,

(2)通过吸附器B的进口管借助真空泵解吸氮气,

(3)使贮气器内的一部分富氧气体回流到正在继续进行解吸的吸附器B的出口管,以便进行吹洗,

(4)停止向吸附器A通入混合气体之后,通过吸附器A的出口管,将吸附器A内的一部分残余富氧气体通入吸附器B的出口管,以回收富氧气体,

(5)通过吸附器A的出口管,将吸附器A中的残余气体通入其中已完成解吸的吸附器B的进口管,以回收富氧气体,与此同时,使一部分富氧气体流回到吸附器B的出口管,以积累压力,

(6)使一部分富氧气体回流到吸附器B的出口管,同时,将混合气体通入吸附器B的进口管,以实施加压,

依次重复以上六个步骤,并交替使用吸附器A和B。

2. 按权利要求1的方法,其中回收步骤(4)的吸附器B的压力增量为小于或等于 $200\text{mmHg}$ ,压力累积步骤(5)完成之后,吸附器A和B之间的

压力差基本上为零。

3. 一种通过PSA 法从主要含有氮气和氧气的混合气体中回收富氧气体的方法，该方法包括：

设置两个吸附器A 和B，该吸附器备有作吸附剂用的沸石分子筛和用来储积所回收的富氧气体的贮气器，所述贮气器与各吸附器的出口管连接并为之共用，以 $2-8\text{kg}/\text{cm}^2\text{G}$ 的压力将混合气体通入吸附器A，以吸附氮气，在常压下将已吸附于吸附器B 内的氮气从中解吸，

所述通气、吸附和解吸可按以下六个步骤进行：

(1)通过吸附器A 的进口管通入混合气体，选择性地吸附氮气，与此同时，通过吸附器A 的出口管，在贮气器内储积所得富氧气体，

(2)通过吸附器B 的进口管解吸氮气，

(3)使贮气器内的一部分富氧气体回流到正在继续进行解吸的吸附器B 的出口管，以便进行吹洗，

(4)停止向吸附器A 通入混合气体后，通过吸附器A 的出口管，将吸附器A 内的一部分残余富氧气体通入吸附器B 的出口管，以回收富氧气体，

(5)通过吸附器A 的出口管，将吸附器A 中的残余富氧气体通入其中已完成解吸的吸附器B 的进口管，以回收富氧气体，与此同时，使一部分富氧气体回流到吸附器B 的出口管，以积累压力，

(6)使一部分富氧气体回流到吸附器B 的出口管，同时，将混合气体通入吸附器B 的进口管，以实施加压，

依次重复以上六个步骤，并交替使用吸附器A 和B。

4. 按权利要求3 的方法，其中在回收步骤(4)时，吸附器B 的压力增量为小于或等于 $0.5\text{kg}/\text{cm}^2\text{G}$ ，在压力累积步骤(5)完成之后，吸附器A 和B 之间的压力差基本上为零。

5. 按权利要求1 至4 的任一项的方法，其中主要成分为氮气和氧

气的混合气体是空气。

6. 按权利要求1或3的方法，其中设置了一个富氧气体的贮气罐，该罐的容积至少等于一个吸附器容积的一半。

7. 按权利要求1或3的方法，其中回收步骤(4)可任意省略。

## 回收富氧气体的方法

本发明涉及通过变压吸附法(下文称之为PSA)从主要成分为氮气和氧气的混合气体中回收富氧气体的方法。

通过PSA法获得的氧气在各种连续采用大量氧气的工业领域中得到广泛应用,例如,用于电炉炼钢,水处理过程中的充氧,纸浆漂白,用于熔炼炉、臭氧发生器等。PSA已作为一项低成本的迅速供氧方法而日益得到推广。

就通过PSA法生产富氧气体的常规工艺而言,主要采用的方法是:设置三个或四个吸附器,依次重复进行吸附、回收、解吸、加压等各个步骤,以便从高收率获得富氧气体。虽然要求能通过简易装置、以较少吸附剂来获取定量的富氧气体,但实际上很难实现这样的要求。

为了实现这一要求,提出了采用两个吸附器的PSA法。例如,日本专利公开No.59-199503介绍了这样一种方法,其中:通过结合均压化,可获得较高收率(例如35%)的富氧气体。然而,就该方法而言,所制得的富氧产品气体中的氧气浓度低达45%。而当产品气体中的氧气浓度升至90%时,收率却降到20%。因此,人们始终认为,通过采用两个吸附器的PSA法,以高收率得到氧气浓度较高的富氧气体,实质上是有限度的。也就是说,与采用三个或四个吸附器的PSA法相比,在采用两个吸附器的PSA法中不可能有足够的时间利用在作为吸附前处理的加压步骤中,用富氧气体将压力提高到吸附压力。结果,在加压步骤中,未等压力充分升高,混合气体原料便被送入吸附器,从而产生了高流入速率的原料气体。因此,氮气未被吸附剂充分吸附,易导致氮气的吸附穿透。

为防止这一现象发生，如上述日本专利公开No.59-199503所介绍，采用了一种方法即将原料气体的进料速度限制在每公斤吸附剂每小时为0.5至1.5Nm<sup>3</sup>的范围内。然而，就仅仅采用一种原料气体进行加压的工艺而言，氮气的吸附穿透问题仍未解决。

在这样的情况下，为解决上述问题，本发明者精心研究了采用两个装置并具有经济效益的PSA法。结果发现，采用下述方法，可防止上述氮气的吸附穿透问题，即在吸附器的出口处设置一富氧气体的贮气器，在回收吸附器内的残余气体或通入混合气体原料时，使一部分来自贮气器的富氧气体回流。

这就是说，本发明的主要任务是提供一种改良的制得富氧气的方法，其目的在于通过所述的采用两个吸附器的PSA法，以高收率获得氧气浓度为90%以上的富氧气体，而该效果一直以来被认为是很难实现的。

根据以下说明，并参考附图，上述目的以及本发明的其它目的和优点对熟悉本领域的专业人员来说是易于明了的。

图1是一气体流程图，说明实施本发明低压法装置的优选实施例。

图2是一气体流程图，说明实施本发明高压法装置的优选实施例。

图3a至3e表示各操作步骤，说明本发明方法的一个优选实施方案，其中应用了图1所示的装置。

图4a至4e表示各操作步骤，说明本发明方法的一个优选实施方案，其中应用了图2所示的装置。

本发明提供了一种应用PSA，从主要成分为氮气和氧气的混合气体中回收富氧气体的方法，该方法包括：

设置两个吸附器A和B，该吸附器备有用作吸附剂的沸石分子筛，和用来储积所回收的富氧气体的贮气器，所述贮气器与各吸附器的出口连接并与两吸附器共用，将混合气体通入吸附器A以吸附氮气，减压下，将已吸附于吸附器B的氮气从中解吸，

所述的通气、吸附和解吸可按以下六个步骤进行：

(1)通过吸附器A的进口管，通入混合气体，选择性地吸附氮气，与此同时，通过吸附器A的出口管，在贮气器内储积所得的富氧气体，

(2)通过吸附器B的进口管解吸氮气，

(3)使贮气器内的一部分富氧气体回流到正在继续进行解吸的吸附器B的出口管，以便进行吹洗，

(4)停止向吸附器A通入混合气体后，通过吸附器A的出口管，将吸附器A内的一部分残余富氧气体通入吸附器B的出口管，以回收富氧气体，

(5)通过吸附器A的出口管，将吸附器A中的残余气体通入其中已完成解吸的吸附器B的进口管，以回收富氧气体，与此同时，使一部分富氧气体流回到吸附器B的出口管，以积累压力，

(6)使一部分富氧气体回流到吸附器B的出口管，同时，将混合气体通入吸附器B的进口管，以实施加压，

依次重复以上六个步骤，并交替使用吸附器A和B。

用作富氧气体的贮气器通常由一个罐组成。该贮气器为两个吸附器所共用，并分别与吸附器A和B的出口管连接。然而需要时，贮气器可由若干个罐组成。并且，所述贮气器的总容积应至少为某一吸附器容积的一半。

本发明的特征之一在于：在压力累积和加压步骤中，于短时间内，使贮气器内储积的一部分富氧气体回流到吸附器，从而防止在吸附器出口部分发生氮气吸附穿透，以提高富氧气体浓度。本发明的另一特征是，在压力累积步骤中，由其中一个已完成吸附过程的吸附器的出口回收残余氧气，并通入已完成解吸过程的另一吸附器的进口，而通过将贮气器的一部分富氧气体回流到吸附器，可抑制氮气向前一个吸附器出口的流动。因此通过均压化，充分回收富氧气体，便可提高富氧气体的

收率。

在实际操作中，最好采用低压或高压法实施本发明方法。应用低压法时，将混合气体在常压至低于 $2\text{kg}/\text{cm}^2\text{G}$ 的压力下通入吸附器，并在 $100\text{mmHg}$ 至 $400\text{mmHg}$ 的减压下进行解吸，应用高压法时，将混合气体在 $2\text{kg}/\text{cm}^2\text{G}$ 至 $8\text{kg}/\text{cm}^2\text{G}$ 的压力下通入吸附器，并通过降压成常压而进行解吸。

具体地说，可按以下程序实施本发明的方法。

设置两个吸附器A和B，该吸附器备有可选择地吸附氮气的吸附剂（例如沸石分子筛），和一个或多个富氧气体的普通贮气罐，该贮气罐通过各吸附器出口管处的导管而与两个吸附器相连，借助于鼓风机或压缩机，将主要由氮气和氧气组成的混合气体加压，并将其通入到其中一个吸附器中（例如吸附器A）。在这种情况下，按低压法，对混合气体加压到常压至低于 $2\text{kg}/\text{cm}^2\text{G}$ ，并借助真空泵，将压力减至 $100\text{mmHg}$ 至 $400\text{mmHg}$ ，对另一吸附器（例如吸附器B）解吸和再生。按高压法，将混合气体加压到 $2\text{kg}/\text{cm}^2\text{G}$ 至 $8\text{kg}/\text{cm}^2\text{G}$ ，将其通入吸附器A进行吸附，并通过降压在常压下使吸附器B解吸和再生。在两种操作中为了吹洗，于解吸步骤结束10至30秒内，从贮气器回流一部分储积的富氧气体，流速最好是该由贮气器的富氧气体产品流速的1.2倍至3.5倍。流速过小，不能充分地进行解吸和再生，因而所得富氧气体产物中的氧气浓度降低，而流速过大，富氧气体产品的量减少。

其中已完成吸附的吸附器A的出口管同其中正在进行减压解吸的吸附器B的出口管相连，以便在吸附器A的上部回收残余富氧气体，并将其引至吸附器B。在这种情况下，应适当地控制所回收的气体量。若过量地回收残余气体，就会降低富氧气体产物中的氧气浓度。为了以最高收率获得富氧气体，必需使吸附器B的压力增量不超过 $200\text{mmHg}$ （就低压法而言）或不超过 $0.5\text{kg}/\text{cm}^2\text{G}$ （就高压法而言）。



然而，这一回收步骤并不是必需的，且可省略。即使在这种情况下，仍可完成操作，而不显著降低回收率。尤其就高压法而言，由于回收率的下降程度一般低于采用低压法时的情形，因此，可省略这一回收步骤，以简化高压法的操作步骤。

下一步，从吸附器A的出口管连续释放气体，并将其引入吸附器B的进口管，从而回收吸附器A内的残余气体。同时，使一部分富氧气体由贮气器回流到吸附器B的出口管，以积累压力。为了在采用低压法和高压法时均能获得最高的回收率，应使两个吸附器的压力几乎相等。这就是说，必需使两者的压力差基本上为零时，才进行回收。

通过从吸附器B的进口管通入混合气体，开始吸附操作。这时，吸附器B的压力仍低于最终吸附力，因此，混合气体迅速流入吸附器。结果，一部分氮气未等被吸附剂充分吸附，便已穿过了吸附剂，这就降低了产品气体中的氧气浓度。为防止这种现象发生，在压力累积步骤之后，使富氧气体由贮气器回流到吸附器B的出口管，从而对其进行加压。直到吸附器B逐渐加压至压力相等于贮气器的压力时，富氧气体才可从吸附器B的出口管流至贮气器。这一操作是本发明最重要的步骤之一，这种使富氧气体回流加压的新颖操作方法是先前从未采用过的。在本发明中，富氧气体连续回流，直至贮气器的压力与吸附器的压力相等，因此，回流气体的量取决于贮气器的体积。

所以，为使这一操作的效果最佳，富氧气体贮气器的体积应等于或大于其中一个吸附器的体积。若体积小于吸附器的一半，就会产生不理想的结果，因为从贮气器回流到吸附器的富氧气体的量会减少，并且当混合气体通入吸附器时，穿过吸附剂层的氮气量增加，从而降低富氧气体中的氧气浓度。而另一方面若体积过大，则得不到进一步的好处。因此，最好使贮气器的体积与吸附器的体积相等。

按本发明主要成分为氮气和氧气的混合气体通常为空气。然而，本

发明的方法也可用于从含较高氧气浓度的废气中回收富氧气体。

下面参考附图详细说明本发明的优选实施例。

图1 是气体流程图，说明实施本发明低压方法装置的优选实施例，其中应用了真空泵。

图2 是气体流程图，说明实施本发明高压法装置的优选实施例，其中不采用真空泵。

图3a至3e和图4a至4e分别说明本发明的操作步骤。

#### (1) 低压法

参照图1 和图3a至3e说明各操作步骤。

##### 步骤-1

用鼓风机1 将混合气体加压至500mm 水柱，经阀3 将其通入备有沸石分子筛的吸附器A：然后，通过吸附除去氮气以富集氧气体，并通过阀9 于贮气器C 中储积所得富氧气体。另一方面在吸附器B 中已完成吸附过程，将氮气解吸。并借助于真空泵2，经过阀7，将压力减至180mmHg，而使吸附剂再生。

##### 步骤-2

在吸附器B 的解吸步骤结束约10至30秒内，使一部分富氧气体以1.2 至1.5 倍于从贮气器抽取富氧气体产品的流速，经阀12和13回流，以吹洗吸附器B。

##### 步骤-3

吸附器A（已完成吸附）内的一部分残余氧气通过阀10和12引至吸附器B 的出口管使之回收。这时，吸附器B 仍借助于真空泵2 继续进行解吸。较为理想的是，采取回收步骤，以便将吸附器B 的最终压力调节到330mmHg，也就是说，使压力从150mmHg 上升180mmHg。当压力增量超过200mmHg 后进行回收时，过量的氮气由吸附器A 流入吸附器B，并且在吸附器B 出口的邻近部位被吸附剂吸附，于是吸附器B 受到污染。

因此，这种情况是不理想的，因为它会导致后继步骤中富氧气体的氧气浓度降低。

#### 步骤-4

通过阀10和阀8，将吸附器A中的残余富氧气体引入吸附器B的进口管，以回收之。同时，使一部分富氧气体由贮气器C经阀11回流到吸附器B的出口管。这时，吸附器A中的解吸已经开始，其方法是借助真空泵，经过阀4，由吸附器A的进口管减压。一定时间后，两个吸附器之间的压力差接近于零。

#### 步骤-5

使富氧气体从贮气器C连续回流，以阻止氮气穿透吸附器B的吸附剂而向吸附器B的出口管运动，同时，利用鼓风机1，将混合气体经阀6通入吸附器B的进口管，以实施加压，作为吸附步骤的预处理。

以约50秒至70秒为半个周期，重复实施上述步骤。

### (2) 高压法

参照图2和图4a至4e，说明另一个优选的操作步骤实施例。

#### 步骤-1

用压缩机1'将混合气体加压至 $4\text{kg}/\text{cm}^2\text{G}$ ，经阀2通入备有沸石分子筛的吸附器A。接着，吸附氮气，得到富氧气体，并经过阀8，于贮气器C内储积所得富氧气体。另一方面，通过阀6使吸附器B（已完成吸附）降压至常压进行解吸，以使吸附剂再生。

#### 步骤-2

在吸附器B的解吸步骤结束约10至30秒内，使一部分富氧气体以1.2至3.5倍于从贮气器抽取富氧气体产品的流速，经阀12和11回流，吹洗吸附器B。

#### 步骤-3

吸附器A（已完成吸附）内的一部分残余氧气通过阀9和11引至吸

附器B的出口管，使之回收。这时，吸附器B继续释放压力，以解吸氮气。应实施回收步骤，以便将吸附器的压力控制在 $0.5\text{kg}/\text{cm}^2\text{G}$ ，也就是说，将压力由常压升压 $0.5\text{kg}/\text{cm}^2\text{G}$ 。当压力增量超过 $0.5\text{kg}/\text{cm}^2\text{G}$ 后进行回收时，过量的氮气由吸附器A流入吸附器B，并且在吸附器B出口的邻近部位被吸附器吸附，于是吸附器B受到污染。因此，这是不理想的，因为这会在后续步骤中导致富氧气体中的氧气浓度降低。

#### 步骤-4

通过阀9和阀7将吸附器A的残余富氧气体引入吸附器B的进口管以回收之。同时，使一部分富氧气体由贮气器C经阀10回流到吸附器B的出口管。这时，吸附器A中的解吸已经开始，其方法是经过阀3，由吸附器A的进口管降压成常压。一定时间后，两个吸附器之间的压力差趋近于零。

#### 步骤-5

使富氧气体从贮气器C连续回流，以阻止氮气穿过吸附器B的吸附器而向出口管移动。从吸附器A回收气体完成后，利用压缩机1'，将混合气体经阀5通入吸附器B的进口管，以实施加压，并作为吸附步骤的预处理。

以大约50秒至70秒为半个周期，重复实施上述步骤。如前所述，在低压法和高压法中，均可省略步骤-3的回收操作。

按照传统的PSA法，需采用三个或更多个吸附器，才能以较高的收率获得氧气浓度高达90%以上的富氧气体。然而，按照本发明的方法，仅采用两个吸附器，就有可能以较高的收率获得氧气浓度高的富氧气体，因此，能使装置简化。此外，与传统的采用三个吸附器的方法相比，吸附剂的数量可减少 $1/3$ 。因此，可显著地降低工厂成本。尤其是与传统的工艺（例如日本专利公开No.59-199503所公开的采用两个吸附器的工艺）相比，本发明的操作方法能显著地提高产品气体的氧气浓度和收率。

例如，可使氧气浓度由45%（日本专利公开No.59-199503）提高到93%（本发明），使收率由前者的35%提高到后者的55%。

以下实施例和对比实施例用来进一步详细说明本发明，而不是限制本发明范围。

### 实施例1

在两个直径分别为80mm、高分别为1200mm的吸附器中，备有5A型沸石分子筛（由西德拜耳公司生产），在吸附器的出口处设置有一个直径为80mm、高为1200mm的储气罐，该储气罐的体积与吸附器的体积相同。利用鼓风机将空气加压至500mmHg，然后将该气体通入吸附器，接着按图3a至3e所示的步骤进行操作。按以下时间周期，用120秒（60sec/周期×2）进行操作。

步骤-1	19秒
步骤-2	20秒
步骤-3	3秒
步骤-4	3秒
步骤-5	15秒
总计	60秒

通过真空泵进行解吸，直至在60秒钟内最终解吸压力达到180mmHg。在步骤-2中，使一部分富氧产品气体以370Nl/H的流速，由贮气罐回流到吸附器（其中正在进行解吸），对其吹洗20秒。在步骤-3中，使正在进行解吸的吸附器的压力升至280mmHg。在步骤-4中，使两个吸附器的压力几乎相同，即：530mmHg。结果，以131 Nl/H的流速获得氧气浓度为93.3%的富氧气体，氧气的回收率为55.2%。

### 对比实施例1

按照与例1中所述的相同方式，采用与例1相同的吸附器和吸附剂，重复操作步骤，只是装置中不带贮气器。利用真空泵进行解吸，直至在

60秒内最终解吸压力达到180mmHg。在步骤2中，从吸附器出口处管道抽取一部从富氧气体，以372 NI/H的流速回流，以便吹洗吸附器20秒钟，同时继续进行解吸。在步骤3中，使正在进行解吸的吸附器的压力上升达到280mmHg。在步骤4中，减压吸附器中的压力达到610mmHg，加压吸附器中的压力达到460mmHg，这是因为一部分富氧产品气体未从贮气器回流，并且两个吸附器的压力不如例1那样相等。结果，富氧产品气体中的氧气浓度降到91.2%，富氧产品气体的流速减至120 NI/H。富氧气体的回收率为49%。

### 实施例2

在两个直径分别为80mm、高分别为1200mm的吸附器中备有5A型的沸石分子筛（由西德拜耳公司生产），在吸附装置的出口管处设有一个直径为80mm、高为1200mm的储气罐，该储气罐的体积与吸附器的体积相同。将加压到4.0kg/cm<sup>2</sup>G的原料空气通入吸附器，然后按图4a至4e所示的步骤进行操作。按以下时间周期，用120秒（60sec/1个周期×2）进行操作。

步骤1	22秒
步骤2	20秒
步骤3	0.5秒
步骤4	2.5秒
步骤5	15秒
总计	60秒

在吸附器底部开一个阀，使解吸气体释放到大气中。在步骤2中，使一部分富氧气体以282 NI/H的流率，由贮气罐回流到正在进行解吸的吸附器，对吸附器吹洗20秒钟。在步骤3中，使正在进行解吸的吸附器的压力升至0.2kg/cm<sup>2</sup>G。在步骤4中，使两个吸附器的压力相等都达到2.0kg/cm<sup>2</sup>G。最后，以95 NI/H的流率获得氧气浓度为93.5%的富氧产

品气体，氧气回收率为25%。

### 对比实施例2

按例2所述的相同方式，采用与例2相同的吸附器和吸附剂进行操作，只是装置中不带储气罐。在吸附器底部开一个阀，使解吸气体释放到大气中。在步骤2中，从吸附器出口管道抽取一部分富氧气体，以282 NI/H的流速回流到正在进行解吸的吸附器，对吸附器吹次20秒钟。在步骤3中，使正在进行解吸的吸附器的压力升至0.2kg/cm<sup>2</sup>G。在步骤4中，减压吸附器中的压力达到2.4kg/cm<sup>2</sup>G，加压吸附器中的压力达到1.2kg/cm<sup>2</sup>G，这是因为一部分富氧产品气体不是从贮气罐回流。因此，两个吸附器的压力不如例1那样相等。结果，富氧产品气体的氧气浓度降到88.5%，富氧产品气体的流率降至90 NI/H，氧气的回收率减至21%。

### 实施例3

在两个直径分别为80mm、高分别为1200mm的吸附器中装有5A型沸石分子筛（由西德拜耳公司生产），在吸附器的出口管处设有一个储气罐，其直径为80mm、高为1200mm，体积与吸附器的体积相同。将加压到4.0kg/cm<sup>2</sup>G的原料空气通入吸附装置，然后按以下时间周期，按照图4a、4b、4d、4e所示的步骤1、2、4和5（省略步骤3），用120秒的时间（60sec/1周期×2）进行操作。

步骤1      22.5秒

步骤2      20秒

步骤4      2.5秒

步骤5      15秒

---

总计      60秒

在吸附器底部开一个阀，使解吸气体释放到大气中。在步骤2中，使一部分富氧气体以282 NI/H的流速从储气罐回流到正在进行解吸的吸

附器中，对吸附器吹洗20秒钟。在步骤4中，使两个吸附器的压力几乎相等，达到 $2.0\text{kg/cm}^2\text{G}$ 。最后，以 $91\text{ NI/H}$ 的流率获得氧气浓度为93.6%的富氧产品气体，氧气回收率为24%。



图 1

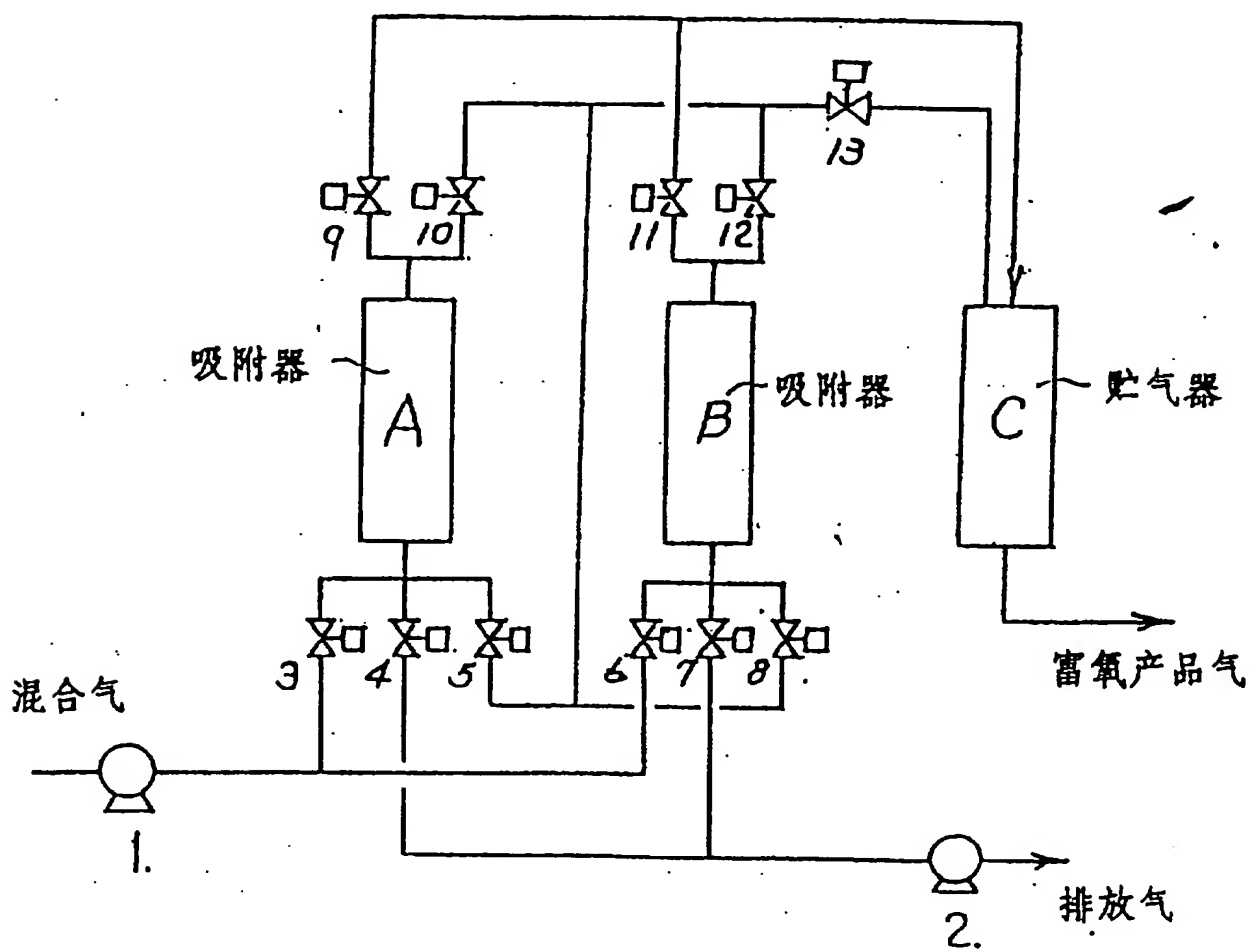


图 2

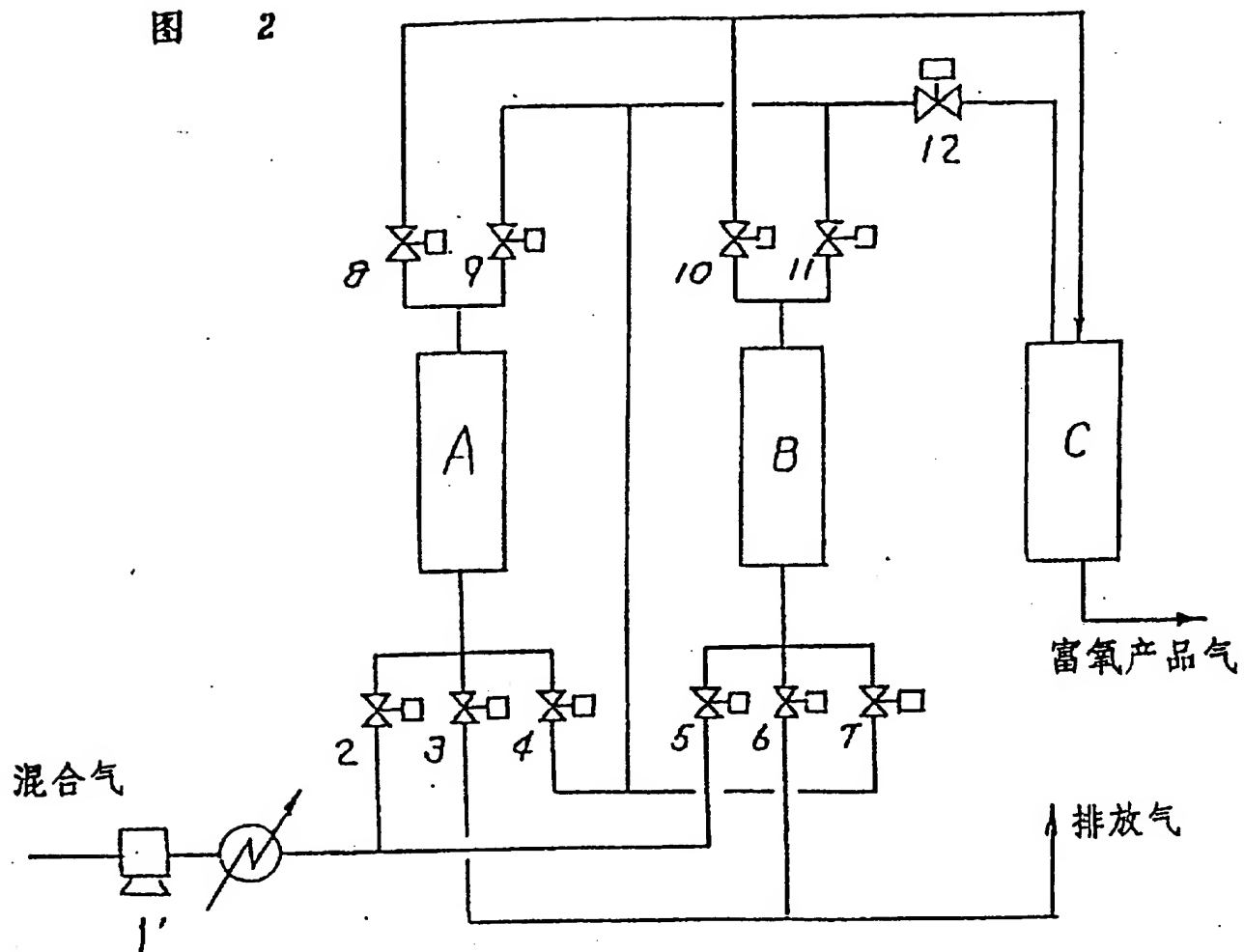


图 3a

步骤1

19秒

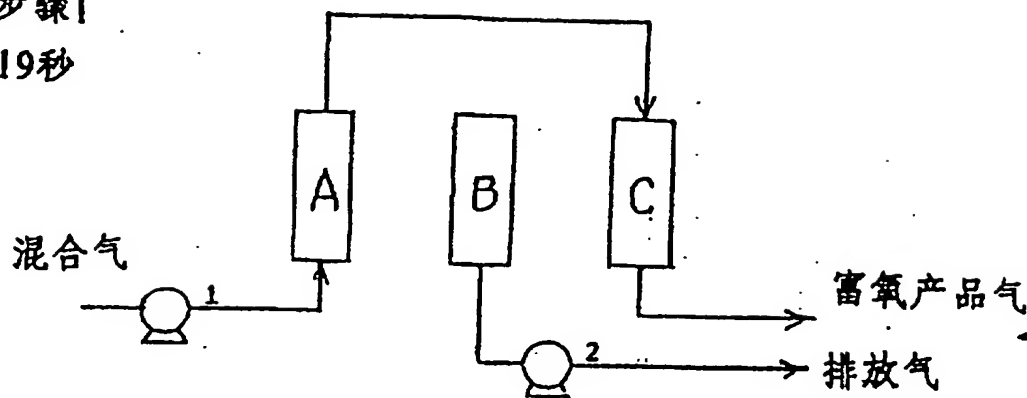


图 3b

步骤2

20秒

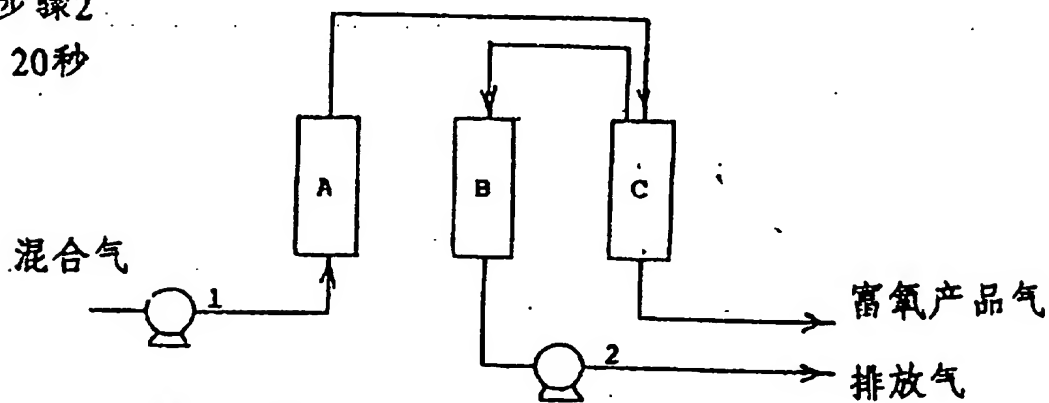


图 3c

步骤3

3秒

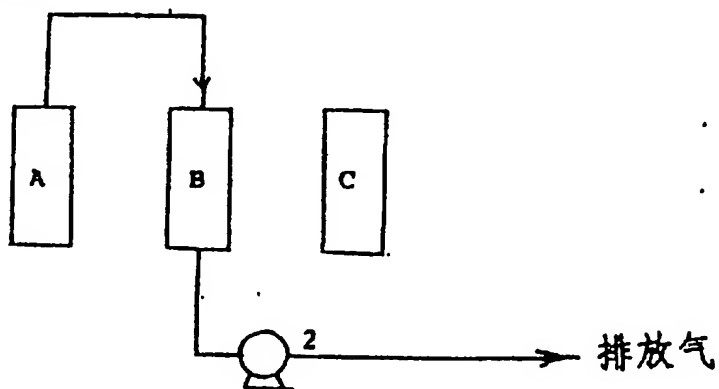


图 3d

步骤4  
3秒

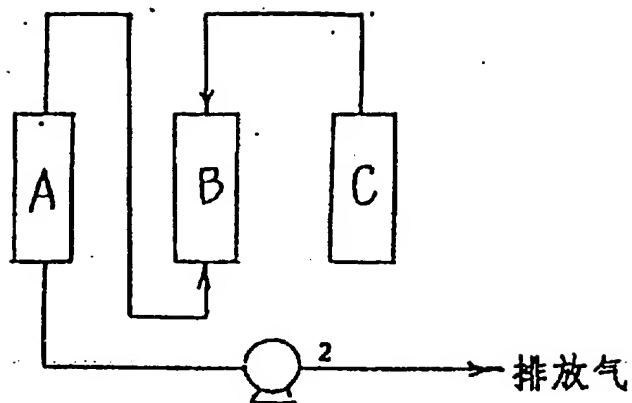


图 3e

步骤5  
15秒

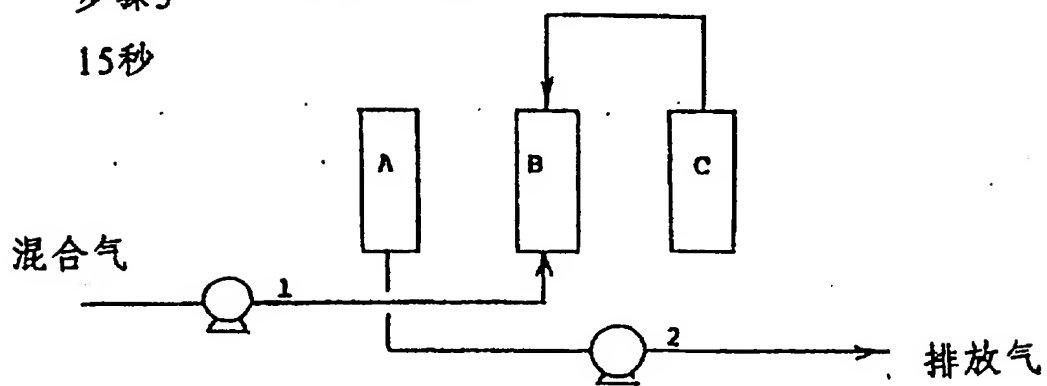


图 4a

步骤1

22秒

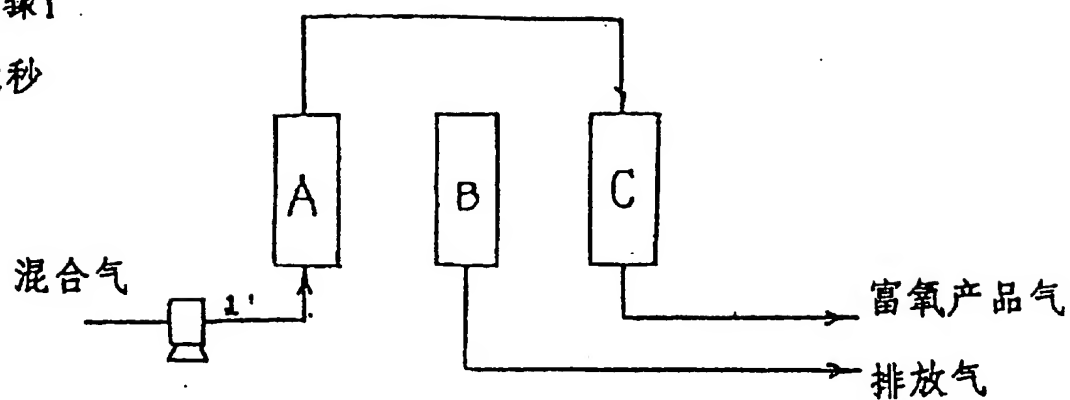


图 4b

步骤2

20秒

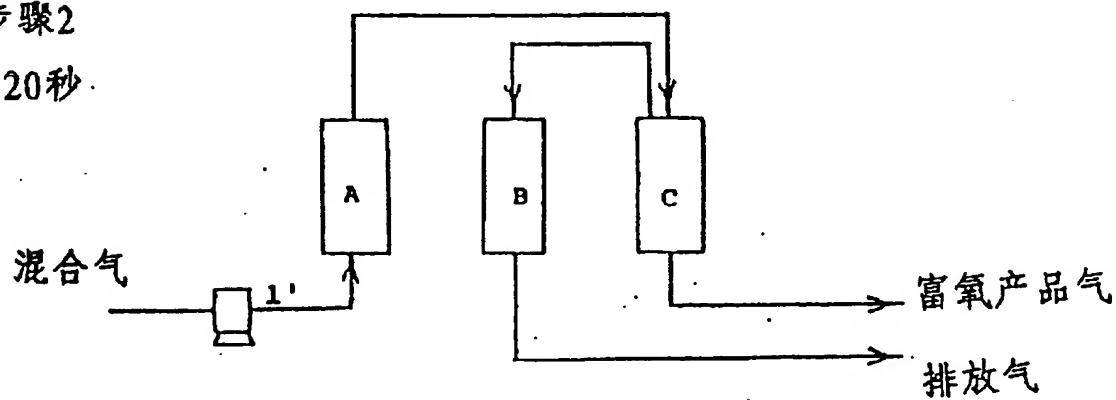


图 4c

步骤3

0.5秒

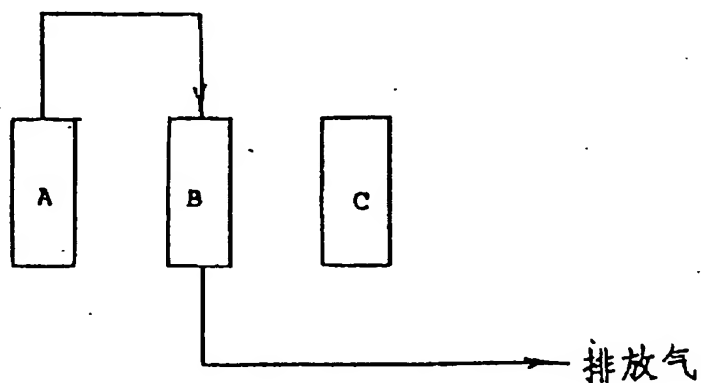


图 4d.

步骤4  
2.5秒

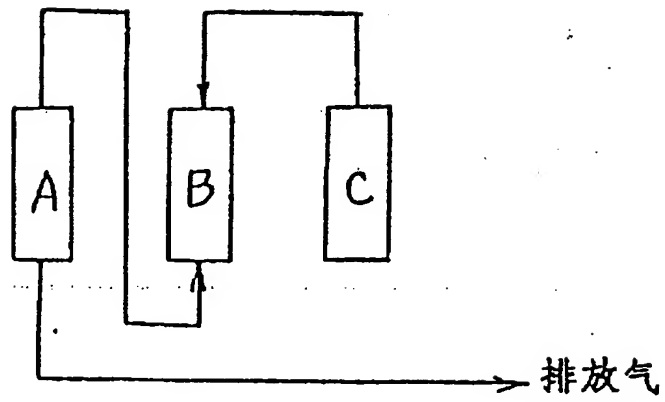


图 4e

步骤5  
15秒

